УДК 621.397

И.И. Сальников
Пензенская государственная технологическая академия, г. Пенза, Россия
iis@pgta.ru

Аппаратно-программный комплекс формирования электронной карты местности по данным аэрокосмического зондирования

В работе исследованы теоретические возможности разработки комплекса программно-аппаратных средств формирования электронных карт местности на основе аэрофотоснимков, получаемых с помощью беспилотного летательного аппарата. Обоснован состав, структурная схема и режимы работы комплекса; разработаны теоретические основы преобразования изображений при формировании электронной карты местности; программное обеспечение анализа аэрофотографических изображений и формирования электронной карты местности; определены возможности реализации части преобразований изображений аппаратными средствами на основе использования сигнальных процессоров и программируемых логических интегральных схем; разработана структурная схема лабораторного макета интеллектуальной цифровой фотокамеры с радиоканалом для передачи результата на землю.

Введение

В настоящее время в связи с развитием информационных технологий появилась реальная возможность формирования электронных карт местности по аэрофотоснимкам, получаемым с помощью беспилотных летательных аппаратов.

Потребность в электронных картах как в городской, так и сельской местности очень велика. Этим объясняется бурное развитие геоинформационных систем (ГИС), для которых в настоящее время источником данных является топографическая съемка местности. Примером служат программные продукты *ArcMAP, EasyTracePro, ArcView, ArcCAD, MapInfo* и другие.

В выполняемой в настоящее время работе поставлена задача разработать комплекс программно-аппаратных средств для формирования электронных карт по данным аэрофотосъемки, выполняемой с помощью беспилотных летательных аппаратов. Возможность положительного решения данной задачи объясняется следующими достигнутыми **успехами в области информационных технологий:**

– появлением цифровых фотоаппаратов с числом точек разрешения в кадре более 10 млн и возможностью получения данных уже в цифровом виде;
– значительным увеличением объема карт памяти объемом более 8 Гбайт;
– развитием беспилотных летательных аппаратов, которые могут летать в автоматическом режиме до 1 часа, фотографируя земную поверхность;
– разработкой навигационных систем *GPS*/ГЛОНАСС, которые позволяют выполнять точную привязку беспилотного летательного аппарата к местности.

Цель работы и постановка задачи. Целью является исследование теоретических возможностей и разработка комплекса программно-аппаратных средств формирования электронных карт местности на основе аэрофотоснимков, получаемых с помощью беспилотного летательного аппарата.

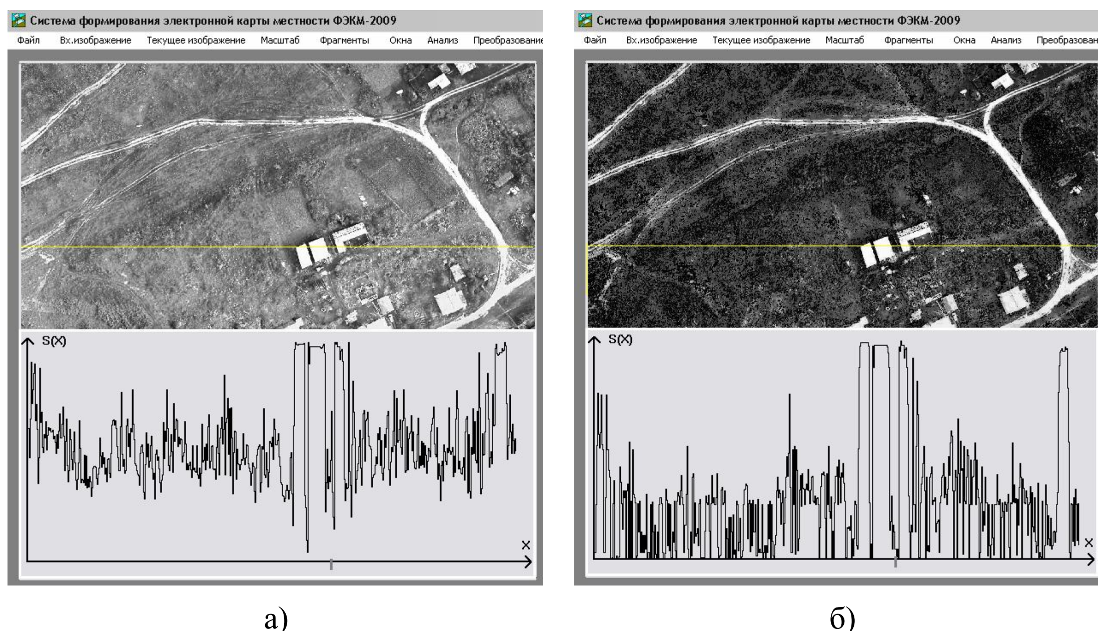
Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:
– обосновать состав, структурную схему и режимы работы комплекса;
– разработать теоретические основы преобразования изображений при формировании электронной карты местности;
– разработать программное обеспечение анализа аэрофотографических изображений и формирования электронной карты местности;
– определить возможность реализации части этапов формирования электронных карт местности аппаратными средствами на основе использования сигнальных процессоров и программируемых логических интегральных схем;
– разработать структурную схему лабораторного макета интеллектуальной цифровой фотокамеры (ИЦФК) с радиоканалом для передачи результата на землю.

Основные этапы преобразования фотоизображения местности

В результате проведенных исследований в рамках поставленной задачи выявилась следующая последовательность преобразования фотоизображений местности для формирования электронной карты:
– выполняется **цветовое разделение** исходного изображения и подавление зеленых и желтых цветов, которые характеризуют растительный фон – траву, деревья, кусты, огороды в населенных пунктах и т.д.;
– выполняется превращение цветного изображения **в черно-белое**, с сохранением яркостной информации по объектам, представляющим интерес для электронной карты местности;
– формируется **бинарное изображение** с целью выявления силуэтов выделяемых объектов, для чего используется либо фиксированный порог, подбираемый опытным путем оператором, либо автоматический порог, определяемый тем или иным адаптивным алгоритмом;
– выполняется **сегментирование силуэтного изображения** с целью выделения локальных областей пространственно-связанных элементов;
– после сегментирования необходимо выполнить **размерную селекцию**, с помощью которой устраняются малоразмерные локальные области, а локальные области с размерами, большими заданных, остаются без искажений;
– измеряются для каждой локальной области **координаты центра тяжести** как устойчивые интегральные характеристики;
– выполняется анализ каждой локальной области с выявлением геометрических размеров и **осей симметрии**;
– по измеренным координатам осей симметрии реальный силуэт объекта заменяется **условным графическим изображением объектов** на электронной карте – строений, дорог, приусадебных участков, водоемов, рек, ручьев и т.п. с учетом цвета объектов и цвета фона.

Выделение цветовых слоев

Исходное изображение местности, полученное с помощью аэрофотосъемки летом, изобилует зелеными и желтыми тонами, которые дают ложные изображения объектов. На рис. 1 представлены результаты анализа сечения яркости *S(x)* для исходного изображения (рис. 1а) и для изображения после подавления зелено-желтых цветов, то есть выделения красно-синих цветов (рис. 1б). Видно, что отношение сигнал/фон улучшается.



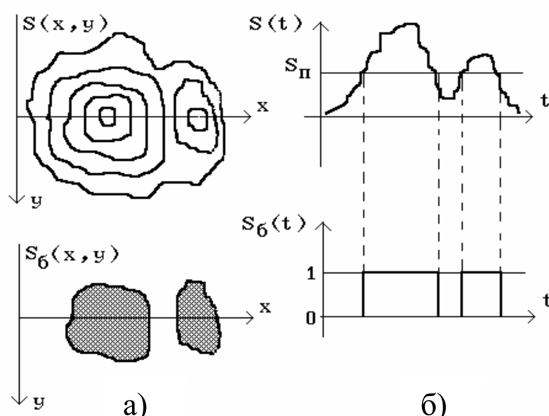
а) б)

Рисунок 1 – Улучшение отношения сигнал/фон для красно-синего слоя

Формат цветового изображения определяется 3-байтным кодом каждого пикселя, причем младший байт кодирует красный цвет *R*, средний байт – зеленый цвет G, а старший байт – синий цвет. Для преобразования цветного изображения в черно-белое необходимо во все 3 байта записать одинаковые коды, равные максимальному коду из трех для цветного изображения.

Бинаризация фотоизображения

Процесс бинаризации полноградационного изображения представлен на рис. 2.



а) б)

Рисунок 2 – Бинаризация полноградационного изображения

Пороговое сравнение (рис. 2б) выполняется для временного видеосигнала *S(t),* а растровое преобразование исходного изображения приводит к получению бинарного изображения $S_б(x,y)$ в виде пятенной картины.

Бинарное изображение имеет важную особенность для систем анализа и обработки изображений – четко выраженную **границу,** которая для полноградационного изображения имеет расплывчатый характер, так как ее положение в достаточной степени условно и зависит от выбранного критерия определения. Определим **границу бинарного изображения** *как геометрическое место точек, для которых наблюдается смена значения бинарной пространственной функции:*

$$S_б(x_г, y_г) = \begin{cases} 1, & \text{для} \quad x = x_г, y = y_г \\ 0, & \text{для} \quad x = (x_г \pm 1), y = (y_г \pm 1) \end{cases}, \qquad (1)$$

где $(x_г, y_г)$ – координаты границы бинарного изображения.

Положение границы для бинарного изображения будет определяться: пороговым уровнем $S_п$, который может быть постоянным в пределах анализируемого растра или может меняться в зависимости от изменения свойств сигнала, то есть быть адаптивным; скоростью изменения исходного сигнала *S(x,y)* или *S(t)* в окрестности порогового уровня (рис. 2б), то есть от частотных свойств исходного сигнала; наличием шумов и помех, изменяющих пространственное положение границ изображения объектов.

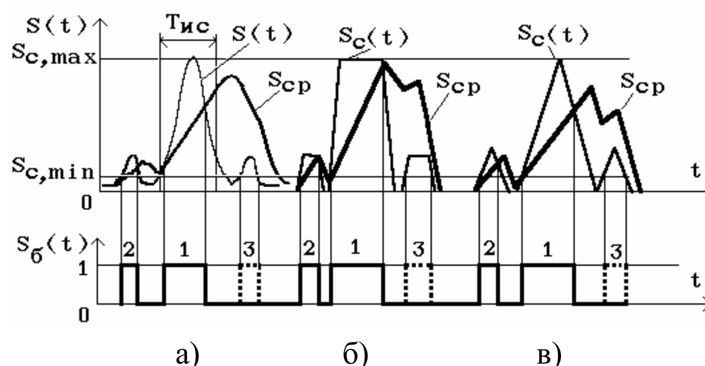
В работе [2] рассмотрены в сравнительном плане различные методы формирования порогового уровня для бинаризации растрового изображения:

– уровень, равный половине динамического диапазона исходного сигнала *S(x,y)*;
– выбор порога по бимодальной гистограмме – минимум между двумя максимумами;
– уровень, делящий площадь гистограммы исходного сигнала пополам;
– уровень, равный среднему значению всего пространственного сигнала;
– адаптивный порог по максимуму производной исходного сигнала *S(x,y)*.

Скользящее интегрирование

Для целей формирования адаптивного порогового уровня наиболее простым является скользящее интегрирование. Под скользящим интегрированием подразумевается вычисление среднего значения в перемещающемся интервале. При этом интервал интегрирования по-прежнему равен интервалу корреляции $T_{ис}= \tau_0$:

$$S_{ср}(t) = \frac{1}{T_{ис}} \int_{t}^{t+T_{ис}} S(t')dt' . \qquad (2)$$



а) б) в)

Рисунок 3 – Скользящее интегрирование для сигналов различной формы

На рис. 3 представлены примеры скользящего интегрирования для сигналов различной формы – колоколообразной, прямоугольной и треугольной, а также различной амплитуды. При использовании результата интегрирования в качестве оценки порогового уровня $S_{ср}(t) = \langle S_п \rangle$ формируется бинарное изображение $S_б(t)$, адаптивное к положению исходного сигнала и не зависящее от его амплитуды (варианты 1, 2). Для данного метода бинаризации необходим некоторый минимальный пороговый уровень $S_{с,min}$, определяемый шумами и заданной вероятностью ложного формирования элементов бинарного изображения. Так как в отсутствие полезного сигнала при малом пороговом уровне будет формироваться бинарное изображение от шумов. Кроме того, пороговый уровень не может быть больше максимального значения сигнала $S_{с,max}$. Для выполнения этих условий необходимо использовать экспоненциальную функцию, связывающую оценку порогового уровня и измеренное среднее значение:

$$< S_п(t) >= S_{c,\max}(1-\exp\{-0{,}7S_{ср}(t)/S_{c,\max}\})+S_{c,\min} \,. \qquad (3)$$

Наблюдаемое явление «затягивания» среднего значения и, как следствие, порогового уровня, приводит к эффекту **подавления малых сигналов** сильными, когда сигнал с малой амплитудой располагается по направлению интегрирования за сигналом с большой амплитудой (рис. 3, вариант 3). Этот эффект связан с инерционностью интегратора, вычисляющего текущий пороговый уровень. При этом малый сигнал, находящийся по направлению интегрирования до большого сигнала, бинаризируется полностью (рис. 3, вариант 2).

Скользящее интегрирование, несмотря на указанный недостаток, значительно ближе к адаптивным методам бинаризации и вполне может быть использовано. По крайней мере, если в изображении есть главный максимум, то он будет бинаризироваться с малыми ошибками. Часть малых локальных максимумов пропадет, если они будут находиться в зоне «затягивания» среднего значения главного максимума. Рассмотренный метод скользящего интегрирования наиболее прост в реализации, но его недостаток заключается в отсутствии учета пространственно-амплитудной структуры полезного сигнала.

Метод максимума производной

В качестве порогового уровня предлагается использовать значения функции яркости с максимумом производной. Этот метод будет относиться к **дифференциальным методам**, которые характеризуются возрастанием опасности ошибок формирования элементов бинарного изображения при наличии высокочастотных шумов. Отметим последовательность действий, необходимых при реализации метода максимума производной для формирования порогового уровня и бинарного изображения. Для реализации этого метода потребуется две памяти объемом на одну строку каждая, чтобы в одну для данной строки выполнялась запись, а из другой – чтение, затем для следующей строки назначение этих памятей должно меняться между собой. В общем виде алгоритм бинаризации изображения по методу максимума производной будет следующим:

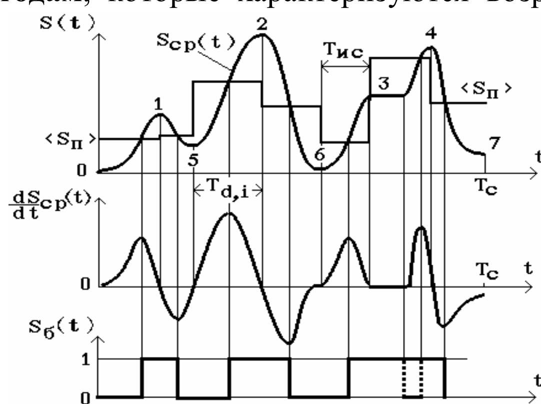


Рисунок 4 – Бинаризация по методу максимума производной

1. Для текущей *j*-строки длительностью $T_с$ выполняется скользящее интегрирование с интервалом интегрирования $T_{ис}$. Формируется сглаженная оценка $S_{ср}(t)$ (рис. 4), которая используется для определения порогового уровня.

2. Выполняется формирование производной $dS_{ср}(t)/dt$, по которой определяются локальные максимумы и минимумы, то есть точки, где производная равна нулю $dS_{ср}(t)/dt = 0$ и происходит смена знака (рис. 4, точки 1-6).

3. Формируются интервалы с постоянным знаком производной $T_{d,i}$, то есть интервалы между соседними максимумом и минимумом (рис. 4, 1 – 5 или 2 – 6), и между минимумом и максимумом (рис. 4, 5 – 2, или 6 – 4).

4. На интервале $T_{d,i}$ с постоянным знаком производной определяется максимум производной $\max\{S_{ср}'(t = t_{m,i})\}$.

5. Для моментов времени $t = t_{m,i}$, когда наблюдаются максимумы производной $\max\{S_{ср}'(t = t_{m,i})\}$, берется отсчет среднего значения, который и используется в качестве порогового уровня на интервале $T_{d,i}$ с постоянным знаком производной, то есть:

$$t_{m,i} = t\Big|_{\max_i\{S_{cp}^{'}(t)\}} \quad < S_{\text{п,i}} >= S_{cp}(t = t_{m,i}), \text{при}\,(t_{m,i} = T_{d,i}) \tag{4}$$

6. Для текущей j-строки выполняется запоминание всех отсчетов порогового уровня, то есть ступенчатой функции $<S_п>$.

7. Одновременно записывается в память исходный сигнал для текущей j-строки, который будет читаться на следующем интервале $T_с$, то есть для $(j + 1)$-строки.

8. Для текущей j-строки выполняется чтение из памяти исходного сигнала $S_{j\text{-}1}(t)$ и сформированного порогового уровня $<S_{п,i,j\text{-}1}>$ для предыдущей $(j–1)$-строки. При этом выполняется пороговое сравнение и формируется бинарный видеосигнал $S_б(t)$ (рис. 4), задержанный по времени на интервал $T_с$.

Ошибки определения порогового уровня для метода максимума производной наиболее полно рассмотрены в [2]. Здесь мы отметим, что среднеквадратическая ошибка, учитывающая как систематическую, так и случайную ошибки формирования бинарного изображения, имеет минимальное значение при некотором оптимальном интервале интегрирования. Наличие минимума можно объяснить тем, что при малых интервалах интегрирования $T_{ис} \geq \Delta t_i$ дисперсия шума уменьшается с увеличением $T_{ис}$, как и происходит при отсутствии операции взятия производной. При дальнейшем увеличении $T_{ис}$ расширяется корреляционная функция, увеличивается интервал корреляции и растет значение интеграла в бесконечных пределах. На рис. 5 приведены зависимости нормированной среднеквадратической ошибки для скользящего интегрирования (1) и метода максимума производной (2) при различных отношениях сигнал/шум Ψ = 5; 10, но при небольших значениях интервала интегрирования ($N_Ф \leq 10$). Метод скользящего интегрирования (рис. 5, 1) характеризуется большой ошибкой смещения, что повлияет на положение границ бинарного изображения. Однако этот метод проще в реализации по сравнению с методом максимума производной (рис. 5, 2).

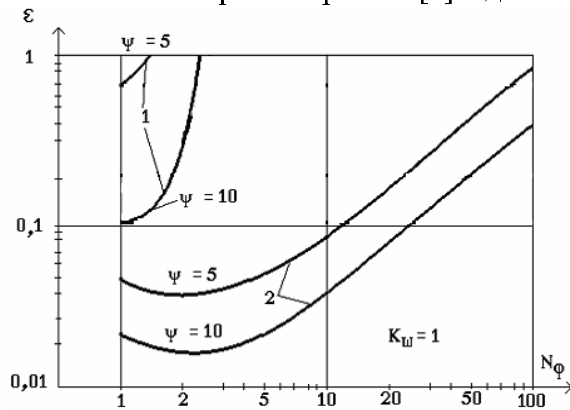


Рисунок 5 – Нормированная среднеквадратическая ошибка

Сегментация бинарного изображения

В результате бинарной обработки исходного фотоизображения получается картина силуэтного изображения, где каждый объект представляет собой бинарную пятенную картину. Наряду с силуэтами полезных для электронной карты объектов – дорог, строений, водохранилищ, рек, линий электропередач и т.п. после бинаризации проявляются ложные силуэты, не связанные с объектами, а связанные с изменением яркости. Далее необходимо выполнить размерную селекцию силуэтных изображений, чтобы отселектировать малоразмерные объекты. Для этих целей необходимо предварительно разделить изображения объектов, то есть выполнить сегментацию (рис. 6).

Сегментация как метод цифровой обработки изображений представляет собой выделение группы элементов растрового изображения по признаку пространственной связанности и присвоения им общего номера [3], то есть разделение на локальные области (ЛО).

Для разработки алгоритма сегментации необходимо определить формат анализа связанности. В работе [3] используется 4-связанный формат анализа принадлежности текущей точки размечаемой области. В [2] доказано, что достаточным и полным является 5-связанный формат в виде примыкающих к текущему элементу $S_{i,j}$ элемента $S_{i–1,j}$ для текущей j-строки и элементов $S_{i–1,j–1}$, $S_{i,j–1}$, $S_{i+1,j–1}$ для предыдущей $(j–1)$-строки (рис. 7в).

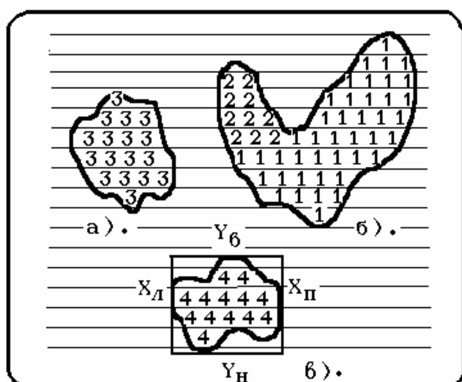


Рисунок 6 – Процесс сегментации пятенной картины

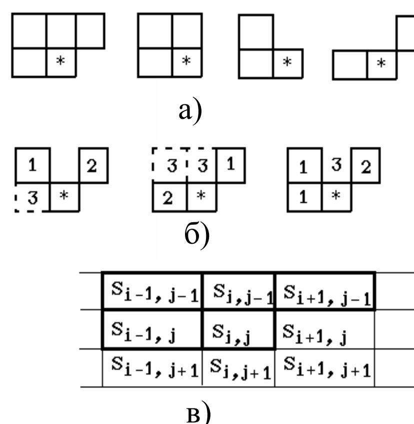


Рисунок 7 – Определение формата анализа связанности

Используем следующие обозначения элементов бинарного изображения, входящих в формат анализа, представленного на рис. 7в: текущий элемент растра $S_{i,j} = e$ и примыкающие к нему элементы растра $S_{i-1,j-1} = a$, $S_{i,j-1} = b$, $S_{i+1,\ j-1} = c$, $S_{i-1,j} = d$, а также присваиваемые им номера – N_a, N_b, N_c, N_d при выполнении разметки. Позиционное положение элементов растра *abcde* включается в формат кода варианта связанности $K_{\text{ВС}}$ в виде:

$$K_{\text{ВС}} = a \cdot 2^3 + b \cdot 2^2 + c \cdot 2^1 + d \cdot 2^0, \qquad (5)$$

где $a, b, c, d, e \in \{\ 0;1\ \}$.

На основании анализа всех вариантов связанности было получено общее выражение для функции назначения номера текущего элемента:

$$N_e = e[F(n,0)N_n + F(n,3 \vee 11)\min\{N_c, N_d\} + F(n,10)\min\{N_c, N_a\} + \\ + F(n,1 \vee 5 \vee 7 \vee 9 \vee 13 \vee 15)N_d + F(n,2)N_c + F(n,4 \vee 6 \vee 12 \vee 14)N_b + F(n,8)N_a], \quad (6)$$

где n – текущее значение $K_{\text{ВС}}$, $F(n, K_{\text{ВС}}) = \begin{cases} 1, & \text{при} \quad n = K_{\text{ВС}} \\ 0, & \text{при} \quad n \neq K_{\text{ВС}} \end{cases}$ – фильтрующая функция, выделяющая различные варианты $K_{\text{ВС}}$. Из (6) вытекают следующие **операции**, необходимые при назначении номера для каждого текущего элемента *e*:

1. Анализ значения текущего элемента и назначение номера, если $e = 1$, то $N_e = N \in \{N_n, N_a, N_b, N_c, N_d\}$.

2. Формирование $K_{\text{ВС}}$ в соответствии с (5).

3. Формирование нового номера N_n, который используется, как только начинается разметка новой ЛО, а признаком начала разметки новой ЛО является $K_{\text{ВС}} = 0$.

4. Сохранение результатов разметки для текущей строки, запоминание размеченных ЛО и чтение этого результата разметки при анализе следующей строки. При этом читаемые из памяти номера будут выполнять роль номеров N_a, N_b, N_c в формате анализа связанности.

5. Для текущей строки сформированный номер N_e запоминается на текущем тактовом интервале и читается на следующем тактовом интервале. Теперь уже этот читаемый номер будет выполнять роль номера N_d.

6. Для $K_{\text{ВС}} = 3 \vee 11$ наблюдается явление слияния двух ЛО, при этом необходимо сравнить номера элементов N_c и N_d, примыкающих к текущему элементу *e*. Выбирается меньший, то есть $N_e = \min\{N_c, N_d\}$.

7. Для $K_{\text{ВС}} = 10$ также наблюдается явление слияния двух ЛО, но при этом необходимо сравнить номера элементов N_c и N_a, примыкающих к текущему элементу *e*. Выбирается также меньший, то есть $N_e = \min\{N_c, N_a\}$.

8. Для всех вариантов $K_{ВС} = 1 \vee 5 \vee 7 \vee 9 \vee 13 \vee 15$ выбирается номер N_d, хотя из анализа $K_{ВС}$ можно было бы выбрать другие номера ЛО, например, для $K_{ВС} = 5$ можно было бы выбрать $N_e = N_b$, но лучше выбрать N_d, так как этот номер находится в текущей строке и может принадлежать переименованной ЛО.

9. Для $K_{ВС} = 2$ выбирается единственный номер N_c, а для $K_{ВС} = 8$ также единственный номер N_a .

10. Для вариантов $K_{ВС} = 4 \vee 6 \vee 12 \vee 14$ используется номер N_b.

11. Для $K_{ВС} = 3 \vee 10 \vee 11$, когда наблюдается слияние двух ЛО (рис. 7в, 1), необходимо не только выбрать из двух номеров меньший, но и переименовать всю часть ЛО, имеющую больший номер в ЛО с меньшим номером – это самый сложный момент в алгоритме сегментации.

12. Для выявления факта окончания номера ЛО необходимо использовать три признака: неиспользования данного номера для разметки; использования данного номера в процессе разметки; и когда данный номер использовался для предыдущей строки, а для текущей строки он не использовался, то есть использование данного номера закончилось. Это проверка на выполнение необходимого условия окончания ЛО.

Размерная селекция

Одновременно с разметкой пятенной картины должно выполняться измерение геометрических размеров ЛО с номером $N^{(q)}$, под которыми подразумеваются размеры некоторого прямоугольника, в который вписана пространственно-связанная ЛО. При этом координаты сторон прямоугольника следующие: для левой стороны – $X_л^{(q)}$, правой – $X_п^{(q)}$, верхней – $Y_в^{(q)}$ и нижней – $Y_н^{(q)}$.

В устройствах цифровой обработки фактически оперируют не координатами, а кодами, соответствующими этим координатам. Положение текущего элемента $S_{i,j}$ в пределах растра определяется его индексами: i – по элементам строки, j – по строкам в пределах кадра. Связь между координатой и кодом выражается через **коэффициент соответствия** $K_x = X/i$, $K_y = Y/j$, [мм/дв.ед].

Координаты геометрических границ ЛО могут быть описаны следующим образом:

$$
\begin{aligned}
X_л^{(q)} &= i_л^{(q)} K_x, \text{ где } i_л^{(q)} = \min\{ i \in I^{(q)} \},\\
X_п^{(q)} &= i_п^{(q)} K_x, \text{ где } i_п^{(q)} = \max\{ i \in I^{(q)} \}\\
Y_в^{(q)} &= j_в^{(q)} K_y, \text{ где } j_в^{(q)} = \min\{ j \in J^{(q)} \}\\
Y_н^{(q)} &= j_н^{(q)} K_y, \text{ где } j_н^{(q)} = \max\{ j \in J^{(q)} \}.
\end{aligned} \qquad (7)
$$

При слиянии двух ЛО необходимо преобразовать координаты границ. Правило преобразования аналогично при разметке текущей ЛО:
– в качестве $X_л^{(q)}$ выбирается самая левая из двух координат;
– в качестве $X_п^{(q)}$ выбирается самая правая из двух координат;
– в качестве $Y_в^{(q)}$ выбирается самая верхняя из двух координат;
– в качестве $Y_н^{(q)}$ выбирается самая нижняя из двух координат.

После формирования геометрических координат границ выполняется **размерная селекция** изображений объектов по признаку непревышения максимальных значений размеров ΔX_{max}, ΔY_{max} и неприуменьшения минимальных значений размеров X_{min}, ΔX_{min} по соответствующим координатам.

В устройстве размерной селекции для каждой закончившейся q-локальной области вычисляются размеры $\Delta X_{(q)}$ и $\Delta Y_{(q)}$, которые затем сравниваются с максимальными и минимальными размерами, которые задают некоторый интервал значений. Если $\Delta X_{(q)}$ и $\Delta Y_{(q)}$ удовлетворяют размерной селекции, то формируется сигнал разрешения для

данной локальной области РЛО:

$$\text{РЛО}^{(q)}=\begin{cases}1, \text{если}(\Delta X_{\min}\le\Delta X^{(q)}\le\Delta X_{\max})\wedge(\Delta Y_{\min}\le\Delta Y^{(q)}\le\Delta Y_{\max})\\0, \quad \text{если} \quad (\Delta X_{\min}>\Delta X^{(q)})\vee(\Delta X^{(q)}>\Delta X_{\max})\vee(\Delta Y_{\min}>\Delta Y^{(q)})\vee(\Delta Y^{(q)}>\Delta Y_{\max})\end{cases}, \quad (8)$$

причем для получения РЛО$^{(q)}$ = 1 все условия объединяются по «И», а при невыполнении хотя бы одного условия разрешение не формируется, то есть РЛО$^{(q)}$ = 0. Только при РЛО$^{(q)}$ = 1 возможна выдача измеренных пространственных параметров для дальнейшего использования.

Анализ сегментированных изображений объектов

После этапа сегментации и размерной селекции сегментированных изображений необходимо заменить реальные бинарные изображения условными обозначениями, используемыми в картографии. Реальные изображения строений и дорог характеризуются, как правило, значительными искажениями, основными из которых являются: наличие разрывов, ложной бахромы на границах, пропадание части изображений объектов, произвольной ориентацией в пределах растра.

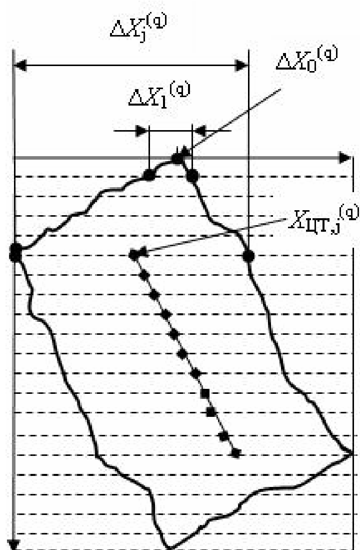


Рисунок 8 – Определение оси симметрии

Задачей следующего этапа является разработка метода, позволяющего вписывать прямоугольник в изображение строения. Чтобы можно было вписать прямоугольник, необходимо измерить характерные точки на изображении, которые менее всего подвержены искажениям. Такими точками могут быть координаты центра тяжести $X_{\text{ЦТ},j}^{(q)}$, так как они являются интегральными характеристиками. На рис. 8 представлено изображение строения в виде силуэта с неровными краями. После сегментации выделяется (q)-локальная область, которая имеет геометрические границы в виде прямоугольника. Выполняется анализ растра внутри этого прямоугольника. Определяется начальная точка $\Delta X_0^{(q)}$ или начальный интервал $\Delta X_1^{(q)}$, на котором яркость изображения изменяется сначала 0→1, а затем 1→0. Затем измеряется интервал $\Delta X_2^{(q)}$ для следующей строки. Если $\Delta X_2^{(q)} > \Delta X_1^{(q)} \pm \delta_X$, то это означает, что анализ следует продолжить.

Если $\Delta X_j^{(q)} \le \Delta X_{j-1}^{(q)} \pm \delta_X$, то для данной строки вычисляется координата центра тяжести $X_{ЦТ,j}^{(q)}$, а также для всех других строк, где выполняется это условие. Для вычисления координат центра тяжести строки $X_{ЦТ,j}^{(q)}$ в пределах $\Delta X_j^{(q)}$ необходимо просуммировать абсолютные координаты всех пикселей силуэта, а затем поделить на число пикселей, то есть $X_{ЦТ,j}^{(q)} = \dfrac{1}{\Delta X_j^{(q)}} \sum_{i}^{i+\Delta X_j} X_{i,j}^{(q)}$, тогда получим абсолютное значение координаты центра тяжести на j-строке. После окончания ЛО определяется длина оси симметрии $L_X^{(q)}$, для чего необходимо выполнить аппроксимацию оси симметрии до пересечения с границами ЛО. Далее, определив средние поперечные размеры, силуэт с искажениями заменяют прямоугольником, имеющим такие же размеры и ориентированным по оси симметрии.

Программное средство преобразования фотоизображения в электронную карту местности

На рис. 9 представлена фотография сельской местности, сделанная с борта беспилотного летательного аппарата. Реально фотоснимки из цифрового фотоаппарата цветные и формируются в JPEG-формате. На настоящем этапе разработано программное средство формирователя электронных карт местности ФЭКМ-2009, которое использует пакет *C++ Builder* и имеет основное окно и дополнительные окна для фрагментов. Основными модулями программного средства являются следующие:

– модуль цветового разделения изображений, который позволяет убрать доминирующие цвета фона – зеленый и желтый;

– модуль формирования бинарного изображения с адаптивным порогом, позволяющий формировать белые силуэты основных элементов электронной карты (строений, дорог, прудов, рек) на черном фоне;

– модуль сегментации бинарного изображения с целью выделения деталей изображения местности, а также размерной селекции. Этот модуль позволяет убрать точечные помехи, не искажая силуэты полезных объектов;

– модуль распознавания основных объектов изображения местности, который заменяет искаженные изображения объектов условными обозначениями объектов, принятыми на электронных картах.

На рис. 9б приведен пример сформированного силуэтного изображения карты местности, приведенной на рис. 9а и на которой объекты представляют собой белые пятна с искаженными границами. В результате работы модуля распознавания формируется изображение (рис. 9в), на котором общий фон – зеленый, строения – коричневые, а дорога – серая.



а) б) в)

Рисунок 9 – Пример анализа фотоизображения местности

В дальнейшем предполагается оптимизировать процесс анализа и обработки аэрофотоснимков на разработанной программной модели формирования электронных карт местности с целью минимизации программных и вычислительных ресурсов. Это необходимо для определения возможности реализации части этапов формирования электронных карт аппаратными средствами на основе использования сигнальных процессоров и программируемых логических интегральных схем, размещаемых на летательном аппарате. Предполагается основную обработку изображений выполнять на борту летательного аппарата, а результат обработки – электронную карту местности – передавать на землю по радиоканалу.

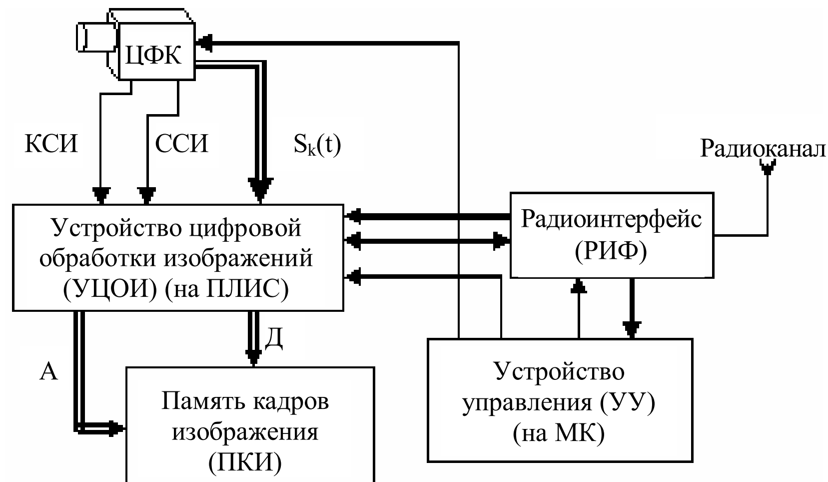


Рисунок 10 – Схема устройства анализа изображения

На рис. 10 представлена схема устройства анализа и преобразования изображения, получаемого с цифровой фотокамеры (ЦФК). Структурная схема аппаратно-программного комплекса формирования электронных карт местности должна иметь в своем составе:

– цифровую фотокамеру; устройство обработки изображений с выделением и распознаванием деталей изображений местности; память на исходные изображения и результат обработки;

– устройство сжатия видеоданных для оперативной передачи их на систему сбора и обработки информации (ССОИ); радиосредства формирования канала передачи данных на ССОИ.

Для развития поставленной задачи необходимо:

– определить объем передаваемых данных и сформулировать требования к радиоканалу передачи данных;

– провести выбор и обоснование элементной базы для реализации алгоритмов анализа изображений, формирования электронной карты, а также для реализации канала передачи данных.

Литература

1. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1974.
2. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений / Сальников И.И. – М. : Физматлит, 2009. – 246 с.
3. Хорн Б.К.П. Зрение роботов / Хорн Б.К.П. – М. : Мир, 1989.

І.І. Сальніков

Апаратно-програмний комплекс формування електронної карти місцевості за даними аерокосмічного зондування

У роботі досліджено теоретичні можливості розробки комплексу програмно-апаратних засобів формування електронних карт місцевості на основі аерофотознімків, що отримуються за допомогою безпілотного літального апарата. Обґрунтовано склад, структурну схему та режими роботи комплексу; розроблено теоретичні засади перетворення зображень під час формування електронної карти місцевості; розроблено програмне забезпечення аналізу аерофотознімків та формування електронної карти місцевості; визначено можливості реалізації частини перетворень зображень апаратними засобами на основі використання сигнальних процесів та програмованих логічних інтегральних схем; розроблено структурну схему лабораторного макета інтелектуальної цифрової фотокамери з радіоканалом для передачі результату на землю.

Статья поступила в редакцию 20.05.2009.